

## **Хроматография в контроле качества и безопасности строительных материалов**

**<sup>1</sup>О.Б. Рудаков\*, <sup>1</sup>Е.А. Хорохордина, <sup>2</sup>Е.Н. Грошев, <sup>1</sup>А.М. Хорохордин**

<sup>1</sup>Воронежский государственный технический университет,  
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

<sup>2</sup>Воронежский институт государственной противопожарной службы МЧС России,  
Российская Федерация, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231

\*Адрес для переписки: Рудаков Олег Борисович, E-mail: rudakov@vgasu.vrn.ru

Поступила в редакцию 6 декабря 2016 г., после доработки – 9 декабря 2016 г.

Проведен анализ опубликованных работ, нормативных документов и оригинальных статей, посвященных проблемам контроля качества и безопасности строительных материалов. Показано, что при определении в строительных материалах различных вредных веществ, органических и неорганических ингредиентов для практических и научных целей наиболее часто используются методы хроматографии, которые позволяют установить наличие и содержание широкого круга экотоксикантов и других компонентов в газовой фазе, растворах и твердой матрице. На основе анализа литературных данных проведена оценка содержаний основных экотоксикантов в различных материалах и строительных объектах. Обсуждены проблемы аналитического контроля в строительном материаловедении. Обсуждены особенности и возможности применения различных вариантов хроматографии при оценке качества и безопасности продукции строительной индустрии. Выделено три блока задач в аналитическом контроле качества и безопасности строительных материалов. Это установление экологической безопасности; определение комплекса технических свойств, гарантирующих безопасную эксплуатацию материалов, изделий и конструкций; распознавание контрафакта и идентификация фирменной продукции.

**Ключевые слова:** экотоксиканты, полимеры, строительные материалы, газожидкостная хроматография, высокоэффективная жидкостная хроматография, хромато-масс-спектрометрия.

For citation: *Analitika i kontrol'* [Analytics and Control], 2016, vol. 20, no. 4, pp. 254-265

DOI: 10.15826/analitika.2016.20.4.008

## **Analytics and control of quality and safety of construction materials**

**<sup>1</sup>O.B. Rudakov\*, <sup>1</sup>E.A. Khorokhordina, <sup>2</sup>E.N. Groshev, <sup>1</sup>A.M. Khorokhordin**

<sup>1</sup>Voronezh State Technical University, ul. 20-letia Oktiabria, 84, Voronezh, 394006, Russian Federation

<sup>2</sup>Voronezh Institute of state fire service of EMERCOM of Russia,  
ul. Krasnoznamennaya, 231, Voronezh, 394052, Russian Federation

\*Corresponding author: Oleg B. Rudakov, E-mail: rudakov@vgasu.vrn.ru

Submitted 06 December 2016, received in revised form – 09 December 2016

The analysis of published papers, regulatory documents and original articles on issues of Analytics and quality control and safety of construction materials. It is shown that the analysis of building materials for the presence of various pollutants, organic and inorganic ingredients for practical and scientific purposes, the most commonly used chromatography methods are used to determine a wide range of toxicants and other components. Based on the analysis of published data evaluated the contents of key toxicants in a variety of materials and construction facilities. Discussed problems of analytical control in the material science. The features and possibilities of application of different variants of chromatography in assessing the quality and safety of products for the construction industry. Allocate three blocks of problems in analytical quality control and safety of building materials. It is the establishment of ecological safety; definition of the technical

properties that ensure the safe operation of materials, products and structures; detection and identification of counterfeit brand-name products.

**Key words:** ecotoxigants, polymers, building materials, gas-liquid chromatography, high performance liquid chromatography.

## Введение

Как следует из анализа оригинальных статей, справочников, монографий и различных нормативных документов, касающихся контроля качества и безопасности строительных материалов и изделий, определению вредных химических веществ, выделяющихся в окружающую среду, в строительной индустрии предпочтение отдают гравиметрическому и титриметрическому анализу, а то и просто органолептической экспертизе – оценке запаха строительных материалов (**СМ**), ибо посторонний запах в помещении – явное свидетельство выделения каких-то веществ в заметных концентрациях [1-4]. Так, при проектировании, строительстве и эксплуатации жилых зданий, предприятий коммунально-бытового обслуживания, учреждений образования, культуры, отдыха и спорта, согласно методическим указаниям «Санитарно-гигиеническая оценка полимерных и полимерсодержащих строительных материалов и конструкций, предназначенных для применения в строительстве жилых, общественных и промышленных зданий. МУ 2.1.2.1829-04», введенных в действие 1 мая 2004 г., проводится одорометрическая оценка образцов СМ по 5-балльной шкале. К моменту ввода зданий в эксплуатацию СМ не должны создавать в помещении специфического запаха, превышающего допустимую норму (2 балла). Вместе с тем в последнее время все шире в аналитическую практику лабораторий, оценивающих качество СМ, состав их органических и неорганических компонентов, внедряются инструментальные методы контроля, и в первую очередь хроматографические [5-12].

В современных СМ во все возрастающем масштабе находят применение полимеры и органические вещества. Строительная индустрия является одним из наиболее крупных потребителей синтетических полимеров (до 20 % мирового производства) и неполимерных органических веществ. Максимальный объем по производству составляют материалы на основе высокомолекулярных соединений (более 70 % всех материалов), это полистиролы, поливинилхлориды, полиуретаны, полиолефины, сложные и простые полиэфиры, карбамидные, фенолоальдегидные и эпоксидные смолы, различные композиты. В современном строительстве используется более 100 наименований полимерных материалов. Использование таких материалов в строительной отрасли стремительно возрастает, области применения их, а также низкомолекулярных органических соединений в строительстве чрезвычайно разнообразны, появляются все новые варианты и

направления их использования [13-14]. При этом экологи бьют тревогу, что вредные вещества выделяются не только в процессе изготовления, но и при эксплуатации СМ, под воздействием внешних факторов и в чрезвычайных ситуациях (ливни, подтопления, аномальная жара, пожары, аварийные ситуации в системах жизнеобеспечения). Внутри многих жилых и производственных зданий из-за выделения СМ экотоксикантов опасно жить и работать. Еще в 70-х годах XX века Всемирная организация здравоохранения впервые ввела термин «синдром больных зданий» (**СБЗ**). Проблема загрязнения воздуха в закрытых помещениях не только не теряет своей остроты до настоящего времени, но и обостряется. Известны так называемые «фенольные дома» – условное название панельных домов серии П-49 (девятиэтажные дома, построенные в начале 1970-х г. во многих крупных городах Советского Союза). В бетон, использованный при их строительстве, добавляли фенолформальдегид, который и был впоследствии источником фенола и формальдегида [2, 15]. На самом деле от 30 до 70 % современных жилых и офисных зданий во всем мире имеют проблемы с загрязнением воздуха. Так, эпидемиологические исследования показывают [15], что от 29 до 80 % обследованных лиц, проживающих или работающих в современных зданиях, имеют симптомы, характерные для СБЗ: это ухудшение состояния здоровья, связанное с плохим качеством воздуха в помещениях и проявляющееся раздражением глаз, кожи, верхних дыхательных путей, головными болями, повышенной утомляемостью, нарушением сна и т.д.

Городские жители проводят в закрытых помещениях более 22 часов в сутки, по будням условно реализуя маршрут «дом – транспорт – офис – транспорт – дом». При этом по оценкам экспертов загрязнение воздуха внутри жилых, производственных помещений и в транспорте нередко превышает загрязнение снаружи в 2-4 раза [2, 7-9, 15]. Было установлено, что практически все СМ (ДСП, ДВП, утеплители, линолеумы, ковровые покрытия, обои, пленки, лаки, краски, мастики, плитки, паркет, мебель, ткани, трубы, краны, фитинги, смесители, шланги, пластиковые окна и т.д.) выделяют в окружающую среду потенциально опасные для здоровья человека химические вещества. Даже натуральная древесина выделяет в воздух помещений целый букет летучих веществ, вредных при определенных концентрациях в воздухе помещений (метанол, терпеноиды и др.). В табл. 1 приведены выделяющиеся из строительных полимеров вещества, которые подлежат аналитическому контролю согласно МУ 2.1.2.1829-04.

Таблица 1

Перечень веществ, подлежащих определению при санитарно-химических исследованиях основных типов полимерных строительных материалов (МУ 2.1.2.1829-04)

Table 1

List of substances to be determined when the sanitary-chemical the Exploration of the main types of polymer building materials (MU 2.1.2.1829-04)

Наименование полимера, применяемого для изготовления материала	Вид строительного материала	Ориентировочный перечень выделяющихся веществ
Поливинилхлорид пластифицированный (суспензионный и эмульсионный)	Линолеумы, плиты, моющиеся обои, декоративные пленки, плинтусы, поручни, оконные рамы, двери и т.д.	Винилхлорид, бензол, толуол, фенол, гексен-1, тетрахлорметан, метилхлорид, хлороформ, трихлорэтилен, гексилхлорид, ксилолы, кумол, псевдокумол, мезитилен, анизол, циклогексанон, дибутилфталат, диоктилфталат, дидодецилфталат, винилацетат, 1-бутанол, 1-гексанол, 2-этилгексаналь, этилацетат, метилэтилкетон, этилгексан
Фенолформальдегидные смолы	Древесностружечные и древесноволокнистые плиты, фенопласты	Формальдегид, фенол, метанол, аммиак
Карбамидные смолы	Древесностружечные и древесноволокнистые плиты	Формальдегид, метанол, аммиак (для мочевино-формальдегидных смол), анилин (для анилин-формальдегидных смол)
Синтетические каучуки на основе бутадиена и сополимеров бутадиена с акрилонитрилом и стиролом	Резиновые линолеумы, резиновые плиты, коврики, пенорезиновые основы синтетических ковров	Дивинил, бензол, толуол, акрилонитрил (для бутадиеннитрильных каучуков), стирол, 2-метилстирол (для бутадиен-стирольных каучуков), этилбензол, сероуглерод, ацетальдегид, ацетон, метанол, 1-бутанол, ксилолы, изопрен, метилметакриловая кислота
Полистирольные пластики, полистирол (блочный, суспензионный, ударопрочный)	Плитка для отделки стен, декоративные панели, решетки, пленки, пенопласты и т.д.	Стирол, метанол, формальдегид, бензол, толуол, этилбензол
Сополимер стирола с акрилонитрилом	Плитка для отделки стен, декоративные панели, решетки, пленки, пенопласты и т.д.	Стирол, акрилонитрил, формальдегид, бензальдегид
АБС-пластики	Плитка для отделки стен, декоративные панели, решетки, пленки, пенопласты и т.д.	Стирол, акрилонитрил, альфа-метилстирол, бензол, толуол, этилбензол, бензальдегид, ксилолы, кумол
Сополимер стирола с метакрилатом	Плитка для отделки стен, декоративные панели, решетки, пленки, пенопласты и т.д.	Стирол, метилметакрилат, метанол, формальдегид
Сополимер стирола с альфа-метилстиролом	Плитка для отделки стен, панели, решетки, пленки, пенопласты	Стирол, альфа-метилстирол, бензальдегид, ацетофенон
Сополимер стирола с дивинилом	Плитка для отделки стен, декоративные панели, решетки, пленки, пенопласты и т.д.	Стирол, дивинил, ацетальдегид, ацетон, метанол, 1-бутанол, ксилолы
Вспененные полистиролы	Плитка для отделки стен, декоративные панели, решетки, пленки, пенопласты и т.д.	Стирол, альфа-метилстирол, бензол, толуол, этилбензол, кумол, метанол, формальдегид
Полиуретаны	Жесткие и мягкие пенопласта, клеи, лаки, герметики	Дивинил, толуиленидиизоцианат, этиленгликоль, бензол, этилацетат, бутилацетат, изобутилацетат, ацетон, этанол, 1-бутанол

Наименование полимера, применяемого для изготовления материала	Вид строительного материала	Ориентировочный перечень выделяющихся веществ
Эпоксидные смолы	Стеклопластики, клеи, фунты, пенопласты, лакокрасочные покрытия, шпатлевка	Эпихлоргидрин, фенол, бисфенол А, формальдегид, дибутилфталат, ацетон, этилбензол, кислоты, этанол, 1-бутанол, аммиак, этилендиамин, этаноламин, гексаметилендиамин, малеиновый ангидрид, фталевый ангидрид
Полиэфирные смолы	Стеклопластики, лаки, клеи	Этиленгликоль, диэтиленгликоль, стирол (для полиэфирных смол, отвержденных стиролом), этилбензол (для полиэфирных смол, отвержденных стиролом), органические растворители, фталевый ангидрид
Полимеры на основе винилового спирта и его производных, поливинилацетат	Клеи, краски, лаки, герметики, грунты	Уксусная кислота, ацетон, этилацетат, бензол, дибутилфталат, диоктилфталат, винилацетат, формальдегид, ацетальдегид, метанол
Поливинилацетат с добавкой карбамидной смолы	Клеи, краски, лаки, герметики, грунты	Ацетон, этилацетат, бензол, дибутилфталат, диоктилфталат, винилацетат, формальдегид, метанол
Поливиниловый спирт	Клеи, краски, лаки, герметики, грунты	Ацетон, этилацетат, бензол, дибутилфталат, диоктилфталат, винилацетат, метанол

В табл. 2 представлены данные о классе опасности наиболее распространенных экотоксикантов, обнаруживаемых в СМ, вероятность их обнаружения и кратность превышения ПДК в воздухе помещений [7-9,15-24].

В последнее время в периодической печати стали активно обсуждать триклозан, нонилфенол и бисфенол А как опасные для здоровья людей вещества, выделяемые СМ [17-24]. Они входят в состав многих композиционных полимерных материалов либо как мономер (бисфенол А), либо как антиоксидантные или консервирующие добавки

(нонилфенол, триклозан) (табл. 2). Еще одним биомом современных зданий, строящихся в России, является аммиак. В табл. 3 приведены источники его эмиссии [14]. Особое внимание следует обратить на микотоксины, как загрязнители материалов. СМ, содержащие в своем составе отходы лесной и деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной, текстильной промышленности, могут являться хорошей питательной средой для развития и размножения микроорганизмов (бактерий, грибов), вызывая тем самым биокоррозию СМ и увеличивая опасность жилой среды для здоровья населения

Таблица 2

Типичные экотоксиканты, выделяемые стройматериалами

Table 2

Typical ecotoxikants allocated building materials

Вещества	Класс опасности	Вероятность обнаружения	Кратность превышения ПДК	Источники загрязнения
Формальдегид	2	100	1-20	Мебель, отделочные материалы, ДСП, ДВП
Фенол	2	70	1-5	Отделочные материалы, ДСП, ДВП
Стирол	4	100	1-12	Отделочные материалы, технические средства
Винилхлорид	2	20	1-2	Линолеум, провода, кабели, отделочные материалы
Этилбензол	3	100	1-3	Отделочные материалы
Гексаналь	3	100	1-5	Мебель, лаки, краски, отделочные материалы
Ацетальдегид	3	80	1-4	Мебель, лаки, краски, отделочные материалы
Ацетофенон	3	60	1-5	Мебель, технические материалы
Микотоксины	2	50	1-5	Отделочные материалы, обои ДСП, ДВП
Аммиак	4	50	1-4	Шпатлевки, бетоны
Бисфенол А	3	50	1-4	Стеклопластики, клеи, пенопласты, лакокрасочные покрытия, шпатлевка, пластиковая тара
Нонилфенол	3	20	1-2	Отделочные материалы, технические средства
Триклозан	2	20	1-2	Отделочные материалы, обои, ДСП, ДВП

Таблица 3

Добавки в бетон – возможные источники эмиссии аммиака

Table 3

Concrete admixtures – possible sources of ammonia emissions

Вещество	Применение в бетоне
Триэтаноламин	Интенсификатор помола цемента, добавка - ускоритель твердения
Сульфированные меламинаформальдегидные смолы	Входят в состав добавок-регуляторов твердения бетона
Аминоуксусная кислота, аминопропионовая кислота	Модификаторы противоморозного действия, компоненты комплексных модификаторов
Карбамид (мочевина)	Входит в состав противоморозных добавок и ускорителей твердения
Амиды карбоновых кислот	Входят в состав противоморозных добавок и ускорителей твердения
Нитрат аммония	Модификатор противоморозного действия
Гидроксид аммония	Модификатор противоморозного действия
Хлористый аммоний	Модификатор противоморозного действия
Аммонийная форма нитрата кальция	Используется в качестве ускорителя сроков схватывания и компонент в противоморозных добавках
Оксалат аммония	Входит в состав ускорителей схватывания
Лигносulfат аммония	Пластификатор
Аммонизированная зола-уноса	Активная минеральная добавка

из-за продуцирования микробами микотоксинов. Это было убедительно показано рядом иностранных ученых [25-27].

Целью представляемого краткого обзора является выявление проблем и задач, стоящих перед аналитиками, работающими в области контроля качества и безопасности строительных материалов, и освещение роли и возможностей хроматографических методов в решении данного круга задач.

### Задачи аналитического контроля строительных материалов

Можно выделить три блока задач в аналитическом контроле СМ. Это установление: 1) экологической безопасности; 2) набора технических свойств, гарантирующих безопасную эксплуатацию материалов, изделий и конструкций; 3) распознавание контрафакта, идентификация фирменной продукции.

Первый блок задач обусловлен необходимостью обеспечить надежный контроль в СМ допустимого уровня токсических веществ: тяжелых металлов, радионуклидов, пестицидов, микотоксинов, консервантов, патогенных микроорганизмов, техногенных экотоксикантов. Он наиболее важен в аналитической практике.

Совокупность загрязнителей «больных зданий» составляют газообразные вещества, пылевые частицы и биологические загрязнители. С помощью хромато-масс-спектрометрии (ХМС) в воздушной среде жилых и общественных зданий обнаружено около 560 летучих соединений, относящихся к 32 группам химических веществ [28]. Почти половина летучих экотоксикантов – это углеводороды, вторая половина – их кислород-, азот-, серо- и галогенпроизводные. В зависимости от химической структуры и токсических свойств экотоксикантов

выделяют: ароматические соединения – бензол, толуол, стирол, полиароматические углеводороды (ПАУ) и гетероциклы; ацетаты – этилацетат, бутилацетат, винилацетат; алканы и циклоалканы – гексан, гептан, октан, нонан, декан, ундекан, додекан, циклогексан, метилциклогексан и др.; альдегиды и кетоны – формальдегид, ацетальдегид, гексанааль, ацетон; карбоновые кислоты (муравьиная, уксусная, масляная), производные азота – оксиды азота, цианиды, изоцианаты, аммиак и амины. Насыщенность полимерными и полимерсодержащими СМ в жилых помещениях колеблется от 10 до 100 %, а концентрации выделяемых экотоксикантов может превышать установленные гигиенические регламенты от нескольких раз до полутора-двух десятков раз. В первую очередь это касается фенола, стирола и формальдегида – основных загрязнителей жилой среды в России. При этом формальдегид, стирол и фенол превышают ПДК более чем в 80 % проб, взятых внутри помещений. Пятая часть экотоксикантов в жилой среде относится к высокоопасным веществам 2 класса опасности. Кстати, высокое содержание формальдегида обнаружено не только в помещениях с новой мебелью из ДСП, но и в квартирах с газовым отоплением и газовыми плитами, где он является продуктом неполного сгорания [15].

Рассмотрим в качестве частного примера строительный объект, в котором экологическая опасность обусловлена применением тех или иных СМ. В метростроении полимеры и органические вещества используются для создания футеровки, ограждающих конструкций, в качестве составной части полимерцементных бетонов, во внутренней отделке подземных помещений, гидроизоляции и герметизации, теплоизоляции конструкций, в антикоррозионных материалах и покрытиях, мастиках, дренаж-

ных трубах, средствах укрепления грунтов и др. [10]. Карбамидные смолы выделяют фенол, формальдегид и аммиак, эпоксидные смолы – эпихлоргидрин, бисфенол А. Поливинилацетатные материалы (ПВА) выделяют формальдегид и метанол. Материалы химического укрепления грунтов выделяют бисфенол А, гексаметилендиамин, фталаты, капролактамы, малеиновый и фталевый ангидриды, меламина, метанол, нитрит акриловой кислоты, стирол, утробин, фенол, формальдегид, эпихлоргидрин, свинец, цинк, медь, титан и др. Еще один источник загрязнения зоны метро – развитие на поверхности СМ микрофлоры (грибков, мха, бактерий и др.) [10, 25-27]. С целью борьбы с микроорганизмами в СМ вводят антисептики и консерванты, например, триклозан и крезолы, которые сами являются опасными загрязнителями [29]. Примером повышенного выделения экотоксикантов может служить ситуация на станции московского метрополитена «Полежаевская», где для ликвидации последствий аварии в массив горных пород было закачено значительное количество карбамидной смолы. Отсутствие увязки сведений о составе агрессивных компонентов вод с материалом химического укрепления и с характером миграции подземных вод, содержащих сернистые соли, привело к достаточно быстрому расщеплению карбамидной смолы с образованием мочевины и формальдегида. А мочевина – источник аммиака [14].

### Хроматографические методы в контроле строительных материалов

На схеме представлены группы хроматографических методов, которые позволяют контролировать экологическую безопасность СМ. Львиная доля существующих методик, особенно включенных в МУК, ГОСТ и РД приходится на капиллярную

газожидкостную хроматографию (КГЖХ). В работах [6-9, 29] приведен достаточно большой перечень аттестованных хроматографических методик определения экотоксикантов, который постоянно растет. Этот список пополняется методиками ВЭЖХ, не утратила актуальность практика применения ТСХ [22,24]. Существенно возрастает число работ, в которых для анализа вредных веществ в материалах используют ХМС, причем не только в сочетании с КГЖХ, но и в сочетании с ВЭЖХ [18-20, 23, 25, 29].

«Ахиллесовой пятой» хроматографических методов как, впрочем, и многих других инструментальных методов анализа, являются пробоотбор и пробоподготовка [5-8, 12, 29]. Так, процессы изготовления и эксплуатации многих СМ сопровождаются достаточно выраженным и зачастую продолжительным газовыделением. Особенно заметное газовыделение характерно для новых материалов, но со временем из-за деструктивных процессов все сильнее выделяют низкомолекулярные продукты и старые СМ [28]. Поэтому разработка методов отбора газовыделений, водных смывов, аэрозолей, выделяющихся из полимерных и композитных СМ в процессе производства, эксплуатации, а также в чрезвычайных ситуациях, является актуальной проблемой, которой должны активно заниматься исследователи вузов и институтов строительного профиля. И такие исследования проводятся в Томском ГАСУ, МГСУ, Воронежском ГАСУ, ныне вошедшем в состав опорного университета Воронежский ГТУ [8, 9, 11]. В работах Березкина В.Г., Другова Ю.С., Зибарева П.В., Хабарова В.Б. и др. [5-8, 12, 29] показано, что наиболее целесообразными устройствами пробоотбора являются ловушки-концентраторы с полимерными пористыми сорбентами, имеющими различные функциональные группы. При этом доминирующую роль в контроле играет выбор сорбента для концентрирования



Рис. Хроматографические методы в контроле качества и безопасности материалов и строительных объектов  
Fig. Chromatographic methods control of quality and safety of materials and construction projects

микропримесей. Сорбент должен отвечать следующим критериям:

- быть химически инертным к выделяющимся компонентам;
- хорошо адсорбировать определяемые вещества;
- быть гидрофобным;
- просто и быстро осуществлять процесс десорбции (и регенерации);
- сохранять свои адсорбционные свойства в течение длительного пользования (т.е. большого числа циклов адсорбции-десорбции);
- быть механически прочным, доступным и относительно дешевым.

Над этими задачами работают также в ГЕОХИ РАН в лаборатории сорбционных методов (Долгонос А.М.) [30, 31], в Электростальском научно-производственном объединении «Неорганика» (Мухин В.М.) [32], в ИНЭОС РАН (Цурюпа М.П., Даванков В.А.) [33, 34], Хабаров В.Б. в ИФХЭ РАН [6, 7] и др.

Конечно, наиболее востребованы исследования по отбору проб летучих органических веществ, выделяющихся из полимерных СМ при комнатной температуре, при повышенных температурах в интервале до 100 °С, а также продуктов деструкции в условиях пожара. Как известно, наиболее часто гибель людей при пожарах происходит из-за химической асфиксии, вызванной газообразными продуктами горения СМ [34]. Горение и термическая деструкция полимеров может сопровождаться выделением фосгена, цианистого водорода, изоцианатов, хлора, фтора, галогеноводородов и прочих токсичных веществ. В этой связи необходимо отметить один нюанс. Согласно действующим СНиП, пожарная опасность СМ определяется такими пожарно-техническими характеристиками как горючесть, воспламеняемость, распространение пламени по поверхности, дымообразующая способность и токсичность продуктов горения. Из этого следует, что многие вредные летучие вещества, которые интенсивно выделяются из прогреваемых до температуры их воспламенения СМ, не учитываются никаким нормативным документом и этому надо уделять большое внимание. Так, экспериментально установлено, что формальдегид из ДСП и винилхлорид из линолеума в значительных количествах выделяются на начальной стадии пожара, при температурах 80-90 °С [35].

Органические экотоксиканты и ингредиенты СМ можно эффективно контролировать хроматографическими методами на уровне ПДК с использованием различных способов концентрирования, например, с помощью экстракционно-хроматографических методик (с применением жидкостно-жидкостной и твердофазной экстракции, экстракционно-вымораживания) [36-41]. Жидкостно-жидкостную экстракцию (**ЖЖЭ**) органических экотоксикантов в настоящее время развивает воронежская школа – Подолина Е.А., Суханов П.Т., Рудаков О.Б., Хорохордина Е.А. [36, 37, 40], экстракционное выморажива-

ние – отечественный исследователь Бехтерев В.Н. и ряд бразильских аналитиков [41-43].

В ЖЖЭ экотоксикантов из водных растворов все чаще в пробоподготовке применяют гидрофильные растворители, например, ацетонитрил [44-48]. Ацетонитрил – уникальный растворитель, ставший не только основным компонентом обращенной подвижной фазы для ВЭЖХ, но и эффективным экстрагентом [46]. Для того, чтобы происходило расслоение ацетонитрильного слоя с водной фазой, применяют различные высаливатели; наиболее подходящим считается сульфат аммония [44]. При низких температурах (ниже -4 °С) ацетонитрил расслаивается с водой без высаливателей, что можно использовать для ЖЖЭ при пониженных температурах [47]. Его же успешно применяют для экстракционного вымораживания различных поллютантов [41-43]. Для более эффективного извлечения сравнительно гидрофобных экотоксикантов из воды и других матриц вместо чистого ацетонитрила предложено в ЖЖЭ применять его смеси с изопропанолом и этилацетатом [48].

Важнейшей проблемой в аналитике и контроле СМ является проблема идентификации фирменной продукции и контрафакта. Например, бетон – вторая по общим объемам потребления человеческой цивилизацией (после воды) субстанция, он является самым активно используемым из искусственно созданных людьми строительных материалов. Так, в середине прошлого десятилетия в мире ежегодно производилось в общей сложности порядка 7 км<sup>3</sup> бетона, т. е. на каждого жителя Земли приходилось более 1 м<sup>3</sup> этого продукта. В конечном итоге эта проблема связана и с экологической безопасностью. Как минимум 7 % мирового производства СМ – поддельные материалы. Не так давно Е. Сизерра, замглавы Минстроя РФ, сообщила, что, по разным источникам, более 50 % цемента, поступающего на стройки РФ, является фальсификатом (<http://ancb.ru/news/read/2294>). К качественному цементу при упаковке подмешивают 20-30 % инертных неорганических наполнителей (шлак, зола, известь или мел). Фальсифицируются известные и популярные торговые марки. Прибыль фальсификаторов в разы превосходит доходы производителей оригинальной продукции. Распознать подделку трудно даже опытным специалистам. Фальсификации подвергаются не только товары, но и все сопроводительные документы (сертификаты качества, безопасности, страна происхождения, товарный знак и т. д.). Сухие строительные смеси (**ССС**) также фальсифицируют, как правило, еще в процессе изготовления, экономя на дорогостоящих химических добавках: органических низкомолекулярных соединений, ПАВ, полимеров. В результате СССР теряет важные заявленные технические характеристики. В этом сегменте аналитической химии непочатый край работы, в том числе для ионной хроматографии, ибо надо контролировать химический состав

как неорганических веществ (катионы и анионы), полученных при переводе твердых проб в раствор [31, 49], так и органических ионогенных и неионогенных веществ. Некоторые фирмы стали для борьбы с подделками добавлять в СМ специальные маркеры, их и другие органические добавки в ССС необходимо научиться эффективно контролировать и качественно, и количественно. В помещениях с СБЗ выявлены аэрозоли таких тяжелых металлов как свинец, кадмий, хром, цинк, железо, марганец, ртуть, стронций, медь. Тяжелые металлы можно контролировать не только спектральными методами, но и с помощью ионной хроматографии [31, 49].

Важной проблемой остаются загрязнения среды асбестом и пылевидными загрязнителями из СМ. В решении этой проблемы высоким потенциалом обладает такой хроматографический метод, как фракционирование в поперечном поле сил (Fild-Flow Fractionation). Этот метод интересен для разделения не только частиц пыли, аэрозолей тяжелых металлов, но даже микроорганизмов [50, 51].

Непосредственно анализ качества полимеров, в частности, определение полного молекулярно-массового распределения макромолекул, возможен с помощью гелепроникающей хроматографии (ГПХ) [52]. ГПХ позволяет изучить тонкие изменения в химической структуре полимеров, этот метод широко применяется в промышленном производстве эластомеров для оперативного контроля качества серийно выпускаемой продукции и соответствующей корректировки технологического процесса, однако еще не внедрен в контроль качества полимерсодержащих материалов службами госнадзора. Существенную пользу в идентификации анализируемых полимеров может принести применение пиролитической газовой хроматографии [53]. В основу метода положено термическое разложение исследуемого образца полимера с последующим хроматографическим анализом продуктов пиролиза. Метод пиролитического газохроматографического анализа широко используется при контроле производства красок, резин, синтетических и природных волокон, эластомеров, полимерных клеев, микроорганизмов. Пирограммы, полученные в идентичных условиях, являются своеобразными «отпечатками пальцев» исследуемых материалов. На предприятиях, производящих эластомеры, создаются атласы пирограмм для различных резин и каучуков, по которым можно выполнять идентификацию материала.

Аналитика и контроль СМ должны стать краеугольным камнем в разработке рекомендаций экологов по проведению гигиенического мониторинга жилой среды с внесением данных динамического наблюдения в эколого-гигиенический паспорт жилища, профилактику СБЗ по стандартизованным методикам (в том числе хроматографическим); в разработке и внедрении в жилищно-эксплуатационную службу экологического паспорта жилого

дома; а также в решении вопросов обеспечения экологического контроля над строящимися объектами, над качеством выполнения и эксплуатации вентиляции зданий.

В этом плане актуальны задачи разработки и создания действующих лабораторных комплексов для санитарно-гигиенических исследований полимерных СМ, включающих хроматографические приборы. Желательно, чтобы эти комплексы были мобильными, обеспеченными системами пробоотбора и портативными хроматографами. В этом аспекте интересны разработки Сидельникова В.Н. и Платонова И.А. [54], позволяющие создавать компактные и в тоже время высокоэффективные хроматографические приборы.

В заключение отметим необходимость разработки в России целевой программы по контролю вредных веществ и свободных низкомолекулярных компонентов в строительных материалах, жилых и производственных помещениях, в окружающей среде с целью обеспечения и безопасности, и качества жизни человека.

## Благодарности

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 17-03-00220 А.*

## Acknowledgements

*This work was supported by RFBR, grant N 17-03-00220 A.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шефтель В.О. Вредные вещества в пластмассах: Справочник. М.: Химия, 1991. 544 с.
2. Цховребов Э.С., Четвертаков Г.В., Шканов С.И. Экологическая безопасность в строительной индустрии. М.: Альфа-М, 2014. 304 с.
3. Гильденскиольд Р.С., Аксенова Л.П., Кузнецова Г.М. Полимерные и полимерсодержащие материалы и конструкции, разрешенные к применению в строительстве. М.: Минздрав России, 2002. 140 с.
4. Вернигорова В.Н., Макридин Н.И., Соколова Ю.А. Современные химические методы исследования строительных материалов. М.: Химия, 2003. 224 с.
5. Другов Ю.С., Березкин В.Г. Газохроматографический анализ загрязненного воздуха. М.: Химия, 1981. 256 с.
6. Хабаров В.Б. Определение формальдегида, метанола и метилаля в фанере, шпоне и карбамидоформальдегидной смоле методом газовой хроматографии с помощью нового устройства для парофазного анализа // Аналитика и контроль. 2013. Т. 17, № 2. С. 196-203.
7. Хабаров В.Б. Санитарно-химические характеристики композиционных древесных материалов и синтетических смол по данным газовой хроматографии // Сорбционные и хроматографические процессы. 2015. Т. 15, № 2. С. 196-215.
8. Зибарев П.В., Зубкова Т.П. Экологическая безопасность полимерных строительных материалов. Анализ газовой хроматографии // Экология промышленного производства. 2007. № 2. С. 27-33.



9. Применение хроматографических методов в контроле качества и безопасности строительных материалов (обзор) / Е.Н. Грошев [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. 2011. Т.11, №3. С. 335-349.
10. Куликова Е.Ю. Оценка экологичности полимерных материалов в подземном строительстве // Экология и промышленность России, 2016. Т. 20, № 3. С. 28-31.
11. Зубкова Т.П., Недавий О.И., Зибарев П.В. Система контроля качества полимерных материалов в современных строительных технологиях // Вестник ТГАСУ. 2007. №1. С. 191-203.
12. Мальцев В.В. Хроматографический анализ летучих выделений из полимерных материалов и прогнозирование их санитарно-химических свойств. Дисс. ... д-ра хим. наук, М. 1998. 298 с.
13. Хозин В.Г. Полимеры в строительстве: границы реального применения, пути совершенствования // Строительные материалы. 2005. № 11. С. 8-11.
14. Бобович Б.Б. Полимерные конструкционные материалы. М.: Инфра-М, Форум, 2014. 400 с.
15. Гигиенические и клинические аспекты синдрома «больных зданий» и перспективы охраны здоровья населения / Н.Г. Проданчук [и др.] // Современные проблемы токсикологии. 2006. № 2. С. 5-12.
16. Худяков С.А., Рудаков О.Б., Буряк А.К. Сравнительный анализ и разработка методов нейтрализации аммиака в бетоне // Научный Вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. 2013. № 4. С. 125-133.
17. Hyung-Geun Park, Min-Kyeong Yeo The toxicity of triclosan, bisphenol A, bisphenol A diglycidyl ether to the regeneration of cnidarian, *Hydra magnipapillata* // Molecular & Cellular Toxicology. 2012. V. 8, № 3. P. 209-216.
18. Coughlin J.L., Winnik B., Buckley B. Measurement of bisphenol A, bisphenol A  $\beta$ -d-glucuronide, genistein, and genistein 4'- $\beta$ -d-glucuronide via SPE and HPLC-MS/MS // Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2011. V. 401, № 3. P. 995-1002.
19. UHPLC-MS/MS method for the determination of bisphenol A and its chlorinated derivatives, bisphenol S, parabens, and benzophenones in human urine samples / Vela-Soria F. [et al.] // Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2014. V. 406, № 15. P. 3773-3785.
20. Ferreira A.M. C., Möder M., Laespada M.E.F. GC-MS determination of parabens, triclosan and methyl triclosan in water by in situ derivatisation and stir-bar sorptive extraction // Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2011. V. 399, № 2. P. 945-953.
21. Sublethal Toxic Effects of Nonylphenol Ethoxylate and Nonylphenol to *Moina macroscopa* / Xue-lei Hu [et al.] // Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 2014. V. 93, № 2. P. 204-208.
22. Определение бисфенола А в эпоксидной смоле методом тонкослойной хроматографии / Е.А. Хорохордина [и др.] // Научный вестник ВГАСУ. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2014. № 9. С. 94-99.
23. Чан Хай Данг, Хорохордина Е.А., Рудаков О.Б. Хромато-масс-спектрометрическое определение бисфенола А в пластиковой таре // Научный Вестник Воронежского ГАСУ. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2015. № 11. С. 94-98.
24. Определение бисфенола А, триклозана и нонилфенола в материалах и экстрактах методом ТСХ, совмещенным с цифровой цветометрией / О.Б. Рудаков [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. 2016. Т. 16, №5. С. 686-694.
25. Mould growth on building materials under low water activities. Influence of humidity and temperature on fungal growth and secondary metabolism / K.F. Nielsen [et al.] // International Biodeterioration and Biodegradation. 2004. V. 54, № 4. P. 325-336.
26. Production of mycotoxins on artificially and naturally infested building materials / K.F. Nielsen [et al.] // Mycopathologia. 1999. V.145, №1. P. 43-56.
27. Production of mycotoxins on artificially inoculated building materials / K.F. Nielsen [et al.] // International Biodeterioration and Biodegradation. 1998. V. 42, № 1. P. 9-16.
28. Малышева А.Г. Летучие органические соединения в воздушной среде помещений жилых и общественных зданий // Гигиена и санитария. 1999. № 1. С. 43-46.
29. Горение, деструкция и стабилизация полимеров / Под ред. Занкова Г.Е. СПб.: Научные основы и технологии. 2008. 422 с.
30. Другов Ю. С., Родин А. А. Анализ загрязненной почвы и опасных отходов: практическое руководство. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 469 с.
31. Composites with a porous bipolar surface for ion chromatography / A.M. Dolgonosov [et al.] // Journal of Analytical Chemistry. 2013. T. 68, № 5. P. 444-449.
32. Долгонос А.М., Рудаков О.Б., Прудковский А.Г. Колонная аналитическая хроматография: практика, теория, моделирование. СПб.: Лань, 2015. 467 с.
33. Мухин В.М. Экологические аспекты применения активных углей // Экология и промышленность России. 2014. № 12. С. 52-56.
34. Сверхсшитый полистирол – первый нанопористый полимерный материал / М.П. Цюрупа [и др.] // Российские нанотехнологии. 2009. Т. 4, № 9-10. С. 109-117.
35. Сверхсшитый полистирол – перспективный материал для предконцентрирования и определения органических соединений методом ВЭЖХ / V.A. Davankov [et al.] // Chem. J. Chin. Univ. 1999. № 20. P. 257-266.
36. Зайцев А.М., Грошев М.Д., Рудаков О.Б. Пожары в России: их влияние на здоровье людей и загрязнение окружающей среды // Научный вестник ВГАСУ. Серия: Физико-химические проблемы строительного материаловедения. 2009. № 2. С.113-120.
37. Хорохордина Е.А., Подолина Е.А., Рудаков О.Б. Жидкостная экстракция смешанными растворителями. Применение в химическом анализе фенолов. LAP Lambert Academic Publishing, 2012. 240 с.
38. Подолина Е.А. Современные способы концентрирования фенола и алкилфенолов из материалов и объектов окружающей среды // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2009. № 2. С. 45-66.
39. Другов Ю.С., Родин А.А. Пробоподготовка в экологическом анализе. СПб.: Анатолия, 2002. 755 с.
40. Сычев К.С., Даванков В.А. Материалы и методы пробоподготовки в хроматографии: твердофазное концентрирование и адсорбционная очистка // Сорбционные и хроматографические процессы. 2004. Т.4, № 4. С.5-28.
41. Суханов П.Т., Коренман Я.И. Концентрирование и определение фенолов. Воронеж: ВГТА, 2005. 259 с.
42. Бехтерев В.Н. Выделение фенолов из воды экстракционным вымораживанием // Ж. аналит. химии. 2008. Т. 63, № 10. С. 1045-1049.
43. Análise de agrotóxicos em água usando extração líquido-líquido com partição em baixa temperatura por cromato-

grafia líquida de alta eficiência / F.O. Silverio [et al.] // Quim. Nova. 2012. V. 35, № 10. P. 2052.

44. Pesticide determination in tomatoes by solid-liquid extraction with purification at low temperature and gas chromatography / G.P. De Pinho [et al.] // Food Chemistry. 2010. № 121. P. 251-256.

45. Применение ацетонитрила для извлечения двухатомных фенолов из водно-солевых растворов с последующим определением методом ВЭЖХ / Е.А. Подолина [и др.] // Ж. аналит. химии. 2008. № 5. С. 514-518.

46. Поверхностное и межфазное натяжение в компонентах экстракционной системе ацетонитрил – водно-солевой раствор / Е.А. Хорохордина [и др.] // Конденсированные среды и межфазные границы. 2009. №4. С. 344-348.

47. Ацетонитрил – уникальный растворитель для жидкостной хроматографии и экстракции / О.Б. Рудаков [и др.] // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2015. № 3. С. 42-47.

48. Низкотемпературная жидкостная экстракция как метод пробоподготовки образцов фенола для обращенно-фазовой ВЭЖХ / Е.А. Подолина [и др.] // Ж. аналит. химии. 2010. Т. 65, № 2. С. 121-123.

49. Низкотемпературная жидкостно-жидкостная экстракция фенолов из водных растворов гидрофильными смесями экстрагентов / О.Б. Рудаков [и др.] // Ж. физ. химии. 2016. Т. 90, №8. С.1257-1260.

50. Шпигун О.А., Золотов Ю.А. Ионная хроматография и ее применение в анализе вод. М.: МГУ, 1990. 197 с.

51. Field-flow fractionation in bioanalysis: A review of recent trends / B. Roda [et al.] // Analytica Chimica Acta. 2009. V. 635, № 2. P. 132-143.

52. Schimpf M., Gaildwell K., Giddings C. Field Flow Fractionation Handbook. New York: Wiley-Interscience, Inc, 2000. 616 p.

53. Спутник хроматографиста. Методы жидкостной хроматографии / О.Б. Рудаков [и др.]. Воронеж: Водолей, 2004. 528 с.

54. Алексеева К. В. Пиролитическая газовая хроматография. М.: Химия, 1985. 256 с.

55. Газовая хроматография будущего: колонки, время которых пришло / В.Н. Сидельников [и др.] // Успехи химии. 2016. Т. 85, № 10. С. 1033-1055.

## References

1. Sheftel V.O. *Vrednye veshchestva v plastmassakh: Spravochnik* [Harmful substances in plastics]. M, Khimiia, 1991. 544 p. (in Russian).

2. Tskhovrebov E.S, Chetvertakov G.V, Shkanov S.I. *Ekologicheskaya bezopasnost' v stroitel'noi industrii* [Environmental safety in the construction industry]. M, Al'fa-M, 2014. 304 p. (in Russian).

3. Gildenskiold R.S, Aksenov L.P, Kuznetsova G.M. *Ekologicheskaya bezopasnost' v stroitel'noi industrii* [Polymer and polymer-containing materials and construction, permitted for use in construction]. Moscow, Minzdrav Rossii, 2002. 140 p. (in Russian).

4. Vernigorova V.N Makridin N.I, Sokolov Y.A *Sovremennye khimicheskie metody issledovaniia stroitel'nykh materialov* [Modern chemical research methods of building materials]. M, Khimiia, 2003. 224 p. (in Russian).

5. Drugov Y.S, Berezkin V.G. *Gazokhromatograficheskii analiz zagriaznennogo vozdukh* [Gas chromatographic analysis of the air pollution]. M, Khimiia, 1981. 256 p. (in Russian).

6. Khabarov V.B. [Determination of formaldehyde, methanol and methylal in plywood, veneer, and urea-formaldehyde resin by gas chromatography using a new device for head-

space]. *Analitika i kontrol'* [Analysis and control], 2013, vol. 17, no. 2, pp. 196-203. doi: 10.15826/analitika.2013.17.2.010 (in Russian).

7. Khabarov V.B. [Sanitary-chemical characteristics of composite wood materials and synthetic resins by gas chromatography] *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy* [Sorption and chromatographic processes], 2015, vol. 15, no. 2, pp. 196-215 (in Russian).

8. Zebari P.V, Zubkova T.P. [Environmental safety of polymer building materials. Analysis of gas emission]. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva* [Ecology of industrial production], 2007, no. 2, pp. 27-33 (in Russian).

9. Groshev E.N, Rudakov O.B, Podolina E.A, Fan V.T [Application of chromatographic methods in controlling the quality and safety of construction materials (review)] *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy* [Sorption and chromatography processes], 2011, vol.11, no. 3, pp. 335-349 (in Russian).

10. Kulikova E.Y. [Evaluation of environmental polymer materials in the construction of underground]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2016, vol. 20, no. 3, pp. 28-31. doi: 10.18412/1816-0395-2016-3-28-31 (in Russian).

11. Zubkov T.P, Nedavnuy O.I, Zebarev P.V. [The quality control system of polymeric materials in modern construction technologies] *Nauchnyi vestnik TGASU* [Scientific Herald TGASU], 2007, no. 1, pp. 191-203 (in Russian).

12. Maltsev V.V. *Khromatograficheskii analiz letuchikh vydelenii iz polimernykh materialov i prognozirovaniye ikh sanitarno-khimicheskikh svoistv*. Diss. dokt. khim. nauk [Chromatographic analysis of volatiles from the poly-dimensional materials and prediction of the sanitary-chemical properties. Dr. chem. sci. diss.]. Moscow, 1998. 298 p. (in Russian).

13. Khozin V.G. [Polymers in construction: the boundaries of the real application, ways to improve]. *Stroitel'nye materialy*. [Building materials], 2005, no. 11, pp. 8-11 (in Russian).

14. Bobovich B.B. *Polimernye konstruktsionnye materialy* [Polymeric construction materials]. Moscow, Infra-M, Forum, 2014. 400 p. (in Russian).

15. Prodanchuk N.G Dyshinevich N.E, Balan G.M, Yurchenko I.V, Babich, S.V, Lyshavskaya E.A., Pereguda E.L. [Hygienic and clinical aspects of the syndrome of "sick buildings" and public health]. *Sovremennye problemy toksikologii* [Modern problems of toxicology], 2006, pp. 5-12 (in Russian).

16. Khudyakov S.A, Rudakov O.B, Buryak A.K. [Comparative analysis and development of ammonia neutralization methods in concrete]. *Nauchnyi Vestnik VGASU. Stroitel'stvo i arkhitektura* [Scientific Herald VGASU. Construction and architecture], 2013, no. 4, pp. 125-133 (in Russian).

17. Hyung-Geun Park, Min-Kyeong Yeo. The toxicity of triclosan, bisphenol A, bisphenol A diglycidyl ether to the regeneration of cnidarian, *Hydra magnipapillata*. *Molecular & Cellular Toxicology*, 2012, vol. 8, no. 3, pp. 209-216. doi:10.1007/s13273-012-0026-4.

18. Janis L. Coughlin, Bozena Winnik, Brian Buckley. Measurement of bisphenol A, bisphenol A β-d-glucuronide, genistein, and genistein 4'-β-d-glucuronide via SPE and HPLC-MS/MS. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2011, vol. 401, no. 3, pp. 995-1002. doi:10.1007/s00216-011-5151-8.

19. Vela-Soria F., Ballesteros O., Zafra-Gómez A., Ballesteros L., Navalón A. UHPLC-MS/MS method for the determination of bisphenol A and its chlorinated derivatives, bisphenol S, parabens, and benzophenones in human urine samples. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2014, vol. 406, no. 15, pp. 3773-3785. doi:10.1007/s00216-014-7785-9.

20. Ferreira A. M. C., Möder M., Laespada M. E. F. GC-MS determination of parabens, triclosan and methyl triclosan in

water by in situ derivatisation and stir-bar sorptive extraction. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2011, vol. 399, no. 2, pp. 945-953. doi:10.1007/s00216-010-4339-7.

21. Xue-lei Hu, Zhi-wei Sun, Jing-jing Wang, Min An, Shun-shan Duan. Sublethal Toxic Effects of Nonylphenol Ethoxylate and Nonylphenol to *Moina macrocopa*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2014, vol. 93, no. 2, pp. 204-208. doi:10.1007/s00128-014-1310-x.

22. Khorokhordina E.A., Rudakov O.B., Tran Hai Dang, Khorokhordin A.M. [Determination of bisphenol A epoxy resin TLC]. *Nauchnyi vestnik VGASU. Seriya: Fiziko-khimicheskie problemy i vysokie tekhnologii stroitel'nogo materialovedeniia* [Scientific Bulletin VGASU. Series: Physical and chemical problems of building materials and high technology], 2014, no. 9, pp. 94-99 (in Russian).

23. Tran Hai Dang, Khorokhordina E.A., Rudakov O.B. [Chromatography-mass spectrometric determination of bisphenol A in plastic tape]. *Nauchnyi Vestnik Voronezhskogo GASU. Seriya: Fiziko-khimicheskie problemy i vysokie tekhnologii stroitel'nogo materialovedeniia* [Scientific Herald of the Voronezh GASU. Series: Physical and chemical problems and high technology of building materials], 2015, no. 11, pp. 94-98 (in Russian).

24. Rudakov O.B., Khorokhordina E.A., Chang Hai Dang, Rudakova L.V. [Determination of bisphenol A, nonylphenol and triclosan in materials and extracts by TLC, combined with digital colorimetry]. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy* [Sorption and chromatographic processes], 2016, vol. 16, no. 5, pp. 686-694 (in Russian).

25. Nielsen K.F., Holm G., Uttrup L.P., Nielsen, P.A. Mould growth on building materials under low water activities. Influence of humidity and temperature on fungal growth and secondary metabolism. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 2004, vol. 54, no. 4, pp. 325-336. doi: 10.1016/j.ibiod.2004.05.002.

26. Nielsen K.F., Gravesen S., Nielsen P.A., Andersen B., Thrane U., Frisvad J.C. Production of mycotoxins on artificially and naturally infested building materials. *Mycopathologia*, 1999, vol. 145, no. 1, pp. 43-56. doi: 10.1023/A:1007038211176.

27. Nielsen K.F., Thrane U., Larsen T.O., Nielsen P.A., Gravesen S. Production of mycotoxins on artificially inoculated building materials. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 1998, vol. 42, no.1, pp. 9-16. doi: org/10.1016/S0964-8305(98)00038-9.

28. Malyshev A.G. [Volatile organic compounds in the air space of residential and public buildings]. *Gigiena i sanitariia* [Hygiene and sanitation], 1999, no. 1, pp. 43-46 (in Russian).

29. Zankova G.E. *Gorenie, destrukttsiia i stabilizatsiia polimerov* [Burning, degradation and stabilization of polymers]. St. Petersburg: Fundamentals and Technologies, 2008. 422 p (in Russian).

30. Drugov Y. C., Rodin A.A. *Analiz zagriaznennoi pochvy i opasnykh otkhodov: prakticheskoe rukovodstvo* [Analysis of contaminated soil and hazardous waste: a practical guide]. Moscow, BINOM. Laboratoriia znaniy, 2013. 469 p. (in Russian).

31. Dolgonosov A.M., Kolotilin N.K., Burmistrov A.A., Yadykov M.S. Composites with a porous bipolar surface for ion chromatography. *Journal of Analytical Chemistry*, 2013, vol. 68, No. 5, pp. 444-449. doi: 10.1134/S1061934813050079.

32. Dolgonosov A.M., Rudakov O.B., Prudkovskii A.G. *Kolonochnaia analiticheskaiia khromatografiia: praktika, teoriia, modelirovanie* [Column analytical chromatography: practice, theory, modeling]. SPb., Lan', 2015. 467 p (in Russian).

33. Mukhin V.M. [Environmental aspects of the use of the active HS-lei] *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2014, no. 12, pp. 52-56 (in Russian).

34. Tsiurupa M.P., Blinnikova Z.K., Proskurin N. A., Pastukhov A.V., Pavlova L.A., Davankov V.A. [Supersewed polystyrene - the first nanoporous polymeric material]. *Rossiiskie nanotekhnologii* [Russian Nanotechnologies], 2009, vol. 4, no. 9-10, pp. 109-117 (in Russian).

35. Davankov V.A., Ilyin M.M., Tsyurupa M.P., Penner N.A., Nesterenko P.N. [Supersewed polystyrene - a promising material for predkontsentration and determination of organic compounds by HPLC]. *Chemical Journal of Chinese Universities* [Chemical Journal of Chinese Universities], 1999, no. 20, p. 257.

36. Zaitsev A.M., Groshev M.D., Rudakov O.B. [Fires in Russia: their impact on human health and environmental contamination]. *Nauchnyi vestnik VGASU. Seriya: Fiziko-khimicheskie problemy stroitel'nogo materialovedeniia* [Scientific Bulletin VGASU. Series: Physical and chemical problems of building materials], 2009, vol. 2, pp.113-120 (in Russian).

37. Khorokhordina E.A., Podolina E.A., Rudakov O.B. *Zhizdnostnaia ekstraktsiia smeshannymi rastvoriteliimi. Primeniye v khimicheskoi analize fenolov*. [Solvent extraction with a mixed solvent. Use of phenols in chemical analysis]. LAP Lambert Academic Publishing, 2012, 240 p.

38. Podolina E.A. [Modern methods of concentration of phenol and alkyl phenols of the materials and objects of the environment]. *Nauchnyi vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturo-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Fiziko-khimicheskie problemy i vysokie tekhnologii stroitel'nogo materialovedeniia*. [Scientific Bulletin of Voronezh State Architecture and Construction University. Series: Physical and chemical problems and high technology of building materials], 2009, no. 2, pp. 45-66 (in Russian).

39. Drugov Y.S., Rodin A.A. *Probopodgotovka v ekologicheskoi analize* [Sample preparation in environmental analysis]. St. Petersburg, Anatoliia, 2002. 755 p. (in Russian).

40. Sychev K.S., Davankov V.A. [Materials and methods of sample preparation in chromatography: solid phase concentration and adsorption treatment] *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy* [Sorption and chromatographic processes], 2004, vol. 4, no. 4, pp. 5-28 (in Russian).

41. Sukhanov P.T., Korenman Y.I. *Kontsentrirovaniye i opredeleniye fenolov* [Concentration and determination of phenols]. Voronezh, VGTA, 2005. 259 p. (in Russian).

42. Bekhterev V.N. [Isolation of phenols from water extraction, freezing out tion] *Zhurnal analiticheskoi khimii*. [Journal of Analytical Chemistry], 2008, vol. 63, no. 10, pp. 1045-1049. doi: 10.1134/S1061934808100043 (in Russian).

43. Silverio F.O., Silva J.G.S., Aguiar M.C.S., de Pinho A.P.C. de G.P. Análise de agrotóxicos em água usando extração líquido-líquido com partição em baixa temperatura por cromatografia líquida de alta. *Quim. Nova*, 2012, vol. 35, no. 10, pp. 2052-2058.

44. De Pinho G.P., Neves A.A., de Queiroz M.E.L.R., Silverio F.O. Pesticide determination in tomatoes by solid-liquid extraction with purification at low temperature and gas chromatography. *Food Chemistry*, 2010, no. 121, pp. 251-256. doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.11.080.

45. Podolina E.A., Rudakov O.B., Khorokhordina E.A. Khartanov L.A. [The use of acetonitrile to extract diatomic phenols from aqueous salt solutions with subsequent determination by HPLC]. *Zhurnal analiticheskoi khimii* [Journal of Analytical Chemistry], 2008, vol. 5, pp. 514-518 (in Russian).

46. Khorokhordina E.A., Rudakov O.B., Cherepakhin A.M., Dubov I.V. [Surface and interfacial tension acetonitrile extraction system components - water-salt solution]. *Kondensirovannye sredy i mezhfaznye granitsy* [Condensed substance and phase boundaries], 2009, no. 4, pp. 344-348 (in Russian).

47. Rudakov O.B., Khorokhordina E.A., Rudakov L.V. Groshchev E.N. [Acetonitrile - a unique solvent for liquid chromatography and extraction] *Vestnik VGU. Seriya: Khimiia. Biologiia. Farmatsiia* [Vestnik VSU. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy], 2015, vol. 3, pp. 42-47 (in Russian).
48. Podolina E.A., Rudakov O.B., Fan V.T., Rudakova L.V. [Low-temperature liquid extraction as a sample preparation method for phenol samples for reversed-phase HPLC]. *Zhurnal analiticheskoi khimii* [Journal of Analytical Chemistry], 2010, vol. 65, no. 2, pp. 121-123 (in Russian).
49. Rudakov O.B., Khorokhordina E.A., Preobrazhensky M.A., Rudakova L.V. [The low-temperature liquid-liquid extraction of phenols from aqueous solutions of hydrophilic mixtures of extractants]. *Zhurn. fizicheskoi khimii*. [Journal Fiz. Chemistry], 2016, vol. 90, no.8, pp.1257-1260 (in Russian).
50. Shpigun O.A., Zolotov Y.A. *Ionnaia khromatografiia i ee primeneniie v analize vod* [Ion chromatography and its application in the analysis of water]. Moscow, MGU, 1990. 197 p. (in Russian).
51. Roda B., Zattoni A., Reschiglian P., Moon M. H., Mirasoli M., Michelini E., Roda A. Field-flow fractionation in bioanalysis: A review of recent trends. *Analytica Chimica Acta*, 2009, vol. 635, no. 2, pp. 132-143. doi.org/10.1016/j.aca.2009.01.015.
52. Schimpf M., Galldwell K., Giddings C. *Field Flow Fractionation Handbook*. New York: Wiley-Interscience, 2000. 616 p.
53. Rudakov O.B., Vostrov I. Filippov A.A., Fedorov S.V., Selemenev V.F. Pridantsev A.A. *Sputnik khromatografista. Metody zhidkostnoi khromatografii* [Sputnik chromatografista. Liquid chromatography methods]. Voronezh, Vodolei, 2004. 528 p (in Russian).
54. Alekseyev K.V. *Piroliticheskaia gazovaia khromatografiia* [Pyrolysis gas chromatography]. Moscow, Khimiia, 1985. 256 p (in Russian).
55. Sidelnikov V.N., Nikolaeva O.A., Platonov I.A., Parmon V.N. Gas chromatography of the future: a column whose time has come // *Russ. Chem. Rev.*, 2016, vol. 85, no. 10, pp. 1033-1055. doi: 10.1070/RCR4627.